

Représentation et Quantification psychovisuelles d'images couleur

Laurent Bédard, Ackim Saadane et Dominique Barba

Images et VideoCommunications

Laboratoire Système Électroniques et Informatiques,

EP CNRS-63 IRESTE, Rue Christian Pauc,

BP 60601, 44306 Nantes Cedex 03, FRANCE.

RÉSUMÉ

La représentation des images couleur en vue de leur codage est un problème fondamental. Dans ce papier une représentation psychovisuelle s'articulant autour de trois axes cardinaux est décrite. Les expériences psychophysiques menées au laboratoire ont permis de déterminer les fonctions de sensibilité de chacun de ces axes. D'un point de vue codage les axes chromatiques ont un comportement passe-bas de fréquence de coupure de 4cy/d° pour l'axe Cr1 «rouge-vert», et de $2,5\text{cy/d}^\circ$ pour l'axe Cr2 («bleu-jaune»).

Les lois de quantification ont également été mesurées pour chacun de ces axes en considérant la perception du bruit de quantification. Les résultats montrent que les seuils de décision et les niveaux de reconstruction suivent une loi linéaire pour l'axe Cr1 et une loi monotone croissante pour l'axe Cr2.

1. Introduction

La perception des images de télévision couleur par le système visuel humain met en œuvre une multitude de mécanismes biologiques. Au niveau rétinien, les signaux lumineux sont transformés par trois types de cônes (nommés communément L, M et S) en signaux électrophysiologiques. Cette étape est caractérisée par la sensibilité spectrale de chacune des familles de cônes [1]. Le système visuel humain (SVH) combine les signaux électrophysiologiques en trois composantes, une composante achromatique (noté ici Ach) qui correspond à la luminance perceptuelle, et deux composantes chromatiques notées Cr1 et Cr2 (ces deux composantes sont aussi notées composante "rouge-vert" et composante "bleu-jaune").

ABSTRACT

In oriented coding application, the choice of the appropriate color image space is a central problem. In this paper, we describe a psychovisual representation which is based on three cardinal axis. The sensitivity functions have then been measured for each chromatic axis. For chromatic directions, the results show a low-pass function with lower resolution than for luminance. The cut-off frequencies are about 4cy/d° for Cr1 direction («red-green») and $2,5\text{cy/d}^\circ$ for Cr2 direction («blue-yellow»).

Quantization laws have also been measured by considering the perception of quantization noise. The results show that the decision thresholds and the reconstruction levels of the Cr1 direction follow a linear law. For the Cr2 direction the obtained values seem following a monotonous increasing function.

Dans ce papier, nous présentons les courbes de sensibilité aux fréquences spatiales de chaque axe de cet espace psychovisuel couleur [2], ainsi que les lois de quantification optimales (au sens qualité d'image) pour chaque composante chromatique.

2. Espace psychovisuel couleur

Le système visuel humain décompose les signaux lumineux en trois composantes, une composante achromatique et deux composantes chromatiques. Notre modèle de perception est basé sur la théorie des signaux antagonistes [3][4], qui a été validé expérimentalement dans diverses conditions expérimentales et avec divers protocoles de mesure. Le signal achromatique (Ach) est construit de

telle façon que la combinaison linéaire des courbes d'absorption $L(\lambda)$ et $M(\lambda)$ des cônes L et M soit égale à la fonction d'efficacité lumineuse $V(\lambda)$ [5].

$$\begin{cases} Ach = L + M \\ Cr1 = L - M \\ Cr2 = S - (L + M) \end{cases}$$

La première composante chromatique Cr1 (axe "rouge-vert") est la différence entre les signaux L et M. La deuxième composante chromatique, axe Cr2 ("bleu-jaune"), est définie comme étant la différence entre le signal S et la composante Ach. Cet espace a été validé [5] dans notre laboratoire dans les conditions standards d'observation de la télévision (recommandation CCIR).

3. Conditions expérimentales

Les expériences servant à déterminer les caractéristiques du système visuel humain sont menées dans notre salle de visualisation normalisée. La distance entre le fond de la salle et la surface de l'écran est d'un mètre. La distance d'observation (distance entre l'observateur et l'écran) est de six fois la hauteur de l'écran. L'éclairage artificiel de la salle assure que l'arrière plan de l'écran réfléchisse en moyenne un flux lumineux achromatique de 8 cd/m² et de température de couleur de 6500°K.

4. Procédures expérimentales

Nous avons utilisé deux procédures expérimentales pour mesurer les différentes caractéristiques du système visuel humain exposées ici. Les signaux utilisés sont tous de composante achromatique nulle.

4.1 Mesure de la sensibilité aux fréquences spatiales

Une procédure à choix forcé binaire associée à une double présentation spatiale et temporelle est utilisée pour déterminer les caractéristiques du système visuel humain. La tâche de l'observateur humain consiste à déterminer l'intervalle temporel ou le stimulus est présenté. La luminosité du fond de l'écran est fixée à 22cd/m². Les stimuli chromatiques sont de nature sinusoïdale et ont été apodisés spatialement par une gaussienne de 1° d'angle visuel, ceci afin de limiter la perception au champ fovéal. La durée de présentation des stimuli et le temps de vote sont de quatre secondes, alors que le temps entre chaque présentation est de 2 secondes.

4.2 Mesure de la perception des dégradations chromatiques

Nous avons utilisé une procédure différente pour mesurer la perception des dégradations chromatiques dues à une quantification. Ici, la tâche de l'observateur est de discriminer un signal dégradé d'un signal de référence. Pour cela on présente à l'observateur deux écrans différents. Dans un cas deux signaux de référence sont présentés, dans l'autre

le signal dégradé remplace un des signaux de référence. La position spatiale et temporelle (premier ou deuxième écran) est aléatoire. Les temps de présentation, de vote et entre chaque présentation sont identiques à la procédure précédemment décrite. La nature des dégradations apportées au signal est décrite dans la section 6.

5. Sensibilité aux fréquences spatiales

la sensibilité aux fréquences spatiales des composantes chromatiques a été mesurée dans différentes conditions expérimentales. Mais dans tous les cas, ces conditions sont très éloignées des recommandations du CCIR sur les conditions d'observation de la télévision. De plus si les différents auteurs sont en accord sur la définition de la composante Cr1, il apparaît une divergence dans la définition de la composante Cr2.

Nous avons donc conduit un campagne de mesure sur les composantes psychovisuelles couleur afin de déterminer les courbes de sensibilité aux fréquences spatiales des mécanismes de perception humaine. Pour chaque composante la sensibilité a été mesurée pour des fréquences allant de 1 à 10 cy/d°. les résultats obtenus sur cinq observateurs pour chaque composante chromatique mettent en évidence un comportement passe bas de faible résolution (cf. figures 1 et 2 et tableaux 1 et 2). La fréquence de coupure moyenne est de 4 cy/d° pour l'axe Cr1 et de 2,5 cy/d° pour l'axe Cr2.

Observateur	fréquence de coupure
OP	2,68 cy/d°
PHD	4,38 cy/d°
PS	3,27 cy/d°
FM	2,75 cy/d°
NB	3,02 cy/d°

Tableau 1 : fréquence de coupure de sensibilité aux fréquences spatiales Cr1.

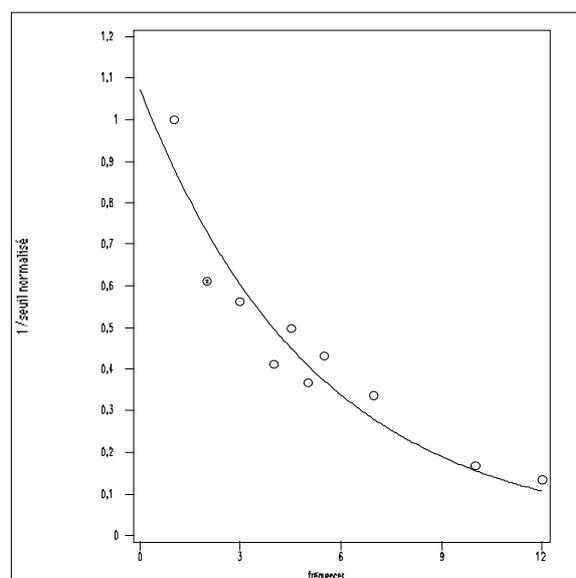


Figure 1 : courbe de sensibilité aux fréquences spatiales Cr1, Observateur PS.

Observateur	fréquence de coupure
CJ	2,6 cy/d°
PML	2,46 cy/d°
FT	3,41 cy/d°
FM	2,32 cy/d°
NB	2,08 cy/d°

Tableau 2 : fréquence de coupure aux fréquences spatiales Cr2.

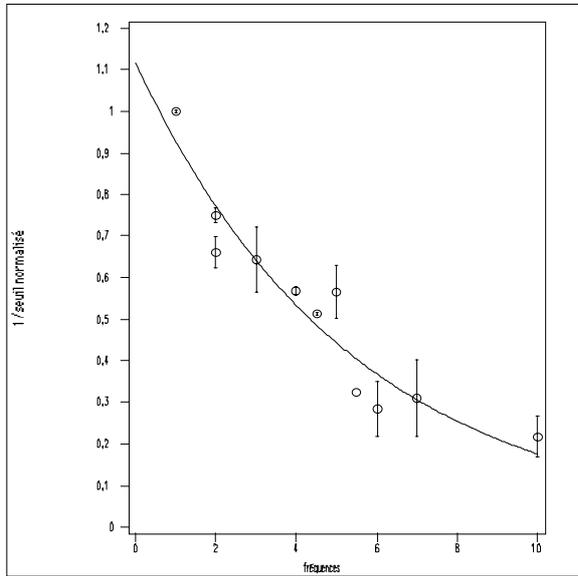


Figure 2 : courbe de sensibilité aux fréquences spatiales Cr2, Observateur PS.

6. Perception d'un bruit de quantification

le but est de déterminer les lois de quantification pour chacune des composantes couleur. Le choix des seuils de décision et des niveaux de reconstruction suit les deux principes suivants :

- le premier niveau de reconstruction est fixé à 0.
- La perception es dégradations diminue ou reste constante quand le "contraste" couleur augmente.

Généralement la perception des dégradations est déterminée en mesurant la visibilité d'un incrément ou d'un bruit de nature aléatoire. Dans le cadre d'un codage d'images, il est plus réaliste de considérer la perception des dégradations induites à par une quantification.

La loi de quantification est mesurée à partir du premier seuil de décision de la quantification. La première mesure détermine le premier seuil de décision de la quantification qui induit des dégradations juste perceptibles. Les mesures des seuils de décision et de niveaux de reconstructions suivants sont mesurés en gardant dans la loi de quantification les paramètres précédemment mesurés (ces paramètres sont diminués de trois écart-type afin de ne pas fausser la mesure courante), ceci afin de tenir compte du cumul spatial dans la perception des dégradations par le système visuel humain. Cette procédure nous permet d'obtenir une loi optimale pour chaque composante chromatique.

Lors de la mesure du n^{ième} paramètre (niveau ou seuil) de quantification, les paramètres suivants (seuils et niveau n+1,

n+2...) sont calculés en considérant une loi de quantification linéaire à partir du paramètre à estimer (cela implique que pour chaque valeur de paramètre testée la loi de quantification est modifiée à partir du paramètre en question). Le dernier niveau de reconstruction est automatiquement fixé au maximum de dynamique utilisé pour l'affichage du signal de référence.

Les mesures ont été menées sur des sinusoïdes d'orientation verticale de 1 cy/d°, qui pour les deux composantes chromatiques assure une bonne perception par les observateurs (cf. fréquences de coupure du système visuel). Cette fréquence nous permet de déterminer le plus grand nombre de paramètres et d'afficher un nombre de pas de reconstruction significatif lors des mesures (la contrainte d'iso-luminance des stimuli ne nous permet pas d'utiliser de grandes dynamiques couleurs). L'orientation verticale des stimuli sinusoïdaux implique des conditions critiques en ce qui concerne la perception des signaux (le SVH étant plus sensible aux signaux verticaux).

Observateur	FT	PML
1 ^{er} niveau	0.0	0.0
1 ^{er} seuil	0,1748 ± 0,0025	0,1511 ± 0,0067
2 ^{ème} niveau	0,3458 ± 0,032	0,3114 ± 0,089
2 ^{ème} seuil	0,5099 ± 0,0067	0,4934 ± 0,023
3 ^{ème} niveau	0,6912 ± 0,035	0,6498 ± 0,058
3 ^{ème} seuil	0,8456 ± 0,0094	

Tableau 3

Observateur	NB	CJ
1 ^{er} niveau	0,0	0,0
1 ^{er} seuil	1,0388 ± 0,0028	1,0631 ± 0,0009
2 ^{ème} niveau	2,1272 ± 0,0026	2,4231 ± 0,023
2 ^{ème} seuil	5,3990 ± 0,0781	6,4328 ± 0,098
3 ^{ème} niveau	9,6121 ± 0,035	9,2152 ± 0,0651

Tableau 4

Les résultats obtenus avec les observateurs FT et PML sur la composante Cr1 sont reportés sur le tableau 3, ceux des observateurs NB et CJ pour l'axe Cr2 sur le tableau 4.

La loi de quantification optimale sur la composante Cr1 mesurée avec notre mode opératoire est une loi linéaire. En revanche, la loi de quantification optimale de la composante Cr2 est monotone croissante.

7. Conclusion

Les mesures menées sur la composante Cr1 sont très intéressantes. En effet on constate sur les deux observateurs que la loi de quantification obtenue est quasi linéaire. De plus, on note une similitude dans les valeurs obtenues sur les deux observateurs (pas de 0,17 pour l'observateur FT et 0,15 pour l'observateur PML).

Les lois de quantification mesurées pour la composante chromatique Cr2 n'ont pas la propriété remarquable trouvée précédemment; les résultats mentionnés dans le tableau 4, donnent une loi de quantification non linéaire quel que soit l'observateur. En revanche, les écarts entre les paramètres de la quantification optimale suivent une fonction croissante monotone.

Nous avons donc déterminé la sensibilité aux fréquences spatiales des mécanismes de perception des signaux chromatiques du système visuel humain. Nous avons déterminé les lois de quantifications sur ces composantes qui assurent la non visibilité de dégradations chromatiques. Les perspectives sont maintenant de mesurer la perception de dégradations chromatiques sur des images naturelles et d'évaluer les dépendances entre chaque composante de l'espace psychovisuel dans la perception des dégradations dues à une quantification scalaire.

Ces résultats et les résultats exposés dans [6] et [7] vont nous permettre de concevoir un schéma de codage d'image fixe couleur à composantes visuelles.

8. Références

- [1] V. C. Smith and J. Pokorny, "*Spectral sensitivity of the foveal cone photopigments between 400 and 500 nm*", Vision Res. , Vol. 15, pp. 161-171, 1992.
- [2] L. Bédard, A. Saadane et D. Barba, "*Dépendance des seuils différentiels de visibilité des stimuli couleur dans le système visuel humain vis-à-vis des caractéristiques d'un signal d'image couleur*", pp. 197-204, CORESA 97, Issy les Moulineaux, 1997.
- [3] L. M. Hurvish and D. Jameson , "*An opponent-process theory of color vision*", Psychol. Rev. 64, pp. 384-404, 1957.
- [4] J. Krauskopf, D. R. Williams and D. W. Heeley, "*Cardinal directions of color space*", Vision Res. , Vol. 22, pp. 1123-1131, 1982.
- [5] W. S. Stiles and G. Wyszecki, "*Color science*", 2nd edition, Wiley, New York, 1982.
- [6] H. Senane, A. Saadane, B. Barba, "*An entirely psychovisual based subband image coding scheme*", VCIP 95, SPIE Vol. 2501, pp 1702-1712, 1996.
- [7] L. Bédard, A. Saadane et D. Barba, "*Détermination d'un espace psychovisuel des couleurs*", pp. 197-204, CORESA 96, Grenoble 15-16 Février 1996.